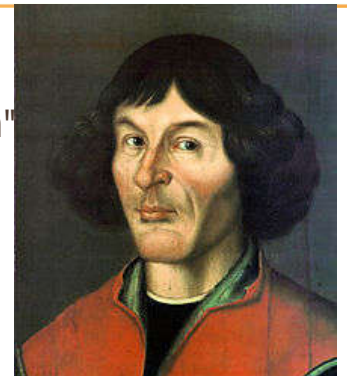


Zemljina gibanja

- ✘ Zemlja se hkrati giblje na štiri načine:
 - ✘ giblje se, skupaj z našo galaksijo, glede na druge galaksije,
 - ✘ kroži s Osončjem znotraj naše galaksije,
 - ✘ kroži, skupaj s planeti Osončja okoli Sonca → revolucija,
 - ✘ vrti se okoli svoje trenutne vrtilne osi → rotacija.
- ✘ Za geodezijo (v širšem pomenu) sta pomembni zadnji dve gibanji.
- ✘ Zanimivo je, da pri pojasnitvi ta dva Zemljina gibanja izhajamo iz dveh različnih fizikalnih zasnov. Revolucijo pojasnjujemo z gibanjem masne točke v gravitacijskem polju, dočim rotacijo Zemlje pojasnjujemo z vrtenjem togega telesa oz. vrtavke.

Rotacija Zemlje

- ✘ Vrtenje Zemlje je dokončno utemeljil Nikolaj Kopernik* leta 1543 v svojem delu "De revolutionibus orbium celestium" in s tem dokončno utrdil heliocentrično zgradbo Osončja.
- ✘ Dokazi za dnevno vrtenje Zemlje:
 - + odklon telesa pri prostem padu (Coriolisov učinek),
 - + Foucaultovo nihalo.
- ✘ Odklon telesa pri prostem padu je prvi pojasnil Newton, praktično so ga dokazali v XIX. stoletju.
- ✘ Telo, ki se nahaja zelo visoko nad Zemljo, ima večjo obodno hitrost kakor točka na zemeljskem površju navpično pod njim, ker je bolj oddaljeno od središča vrtenja. Zato med padanjem, ne le da ne bo zaostalo za vrtenjem Zemlje, temveč jo bo prehitelo in padlo vzhodno od točke navpično pod seboj.



* **Mikołaj Kopernik** (1473-1543), poljski astronom, matematik, pravnik, zdravnik, administrator in ekonomist.

Rotacija Zemlje – dokaz 1

- ✘ Točka na površju Zemlje kroži z obodno hitrostjo $v_1 = \omega R_Z$, telo na višini h pa z obodno hitrostjo $v_2 = \omega(R_Z + h)$. Razlika hitrosti je $v_2 - v_1 = \omega h$. Čas padanja dobimo iz:

$$h = 0 + \frac{1}{2}gt^2, \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Zaradi večje hitrosti v_2 se bo telo odklonilo proti vzhodu za vrednost δx :

$$\delta x = (v_2 - v_1)t = \omega h \sqrt{\frac{2h}{g}} = \omega \sqrt{\frac{2h^3}{g}}$$

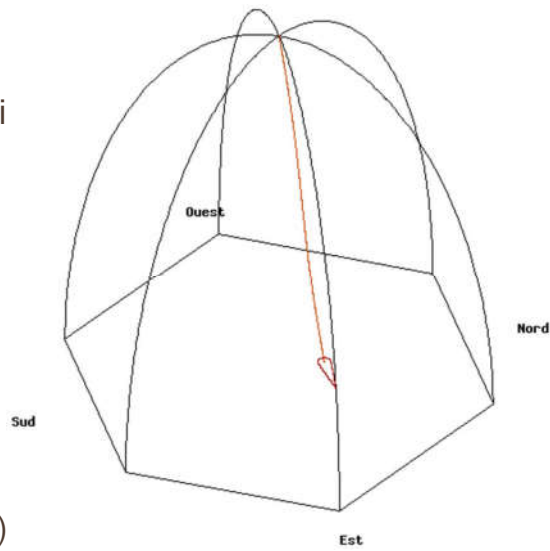
- ✘ Odklon je sorazmeren z višino s katere telo pada in odvisen od geografske širine kraja, kjer se padec dogaja. Vpliv širine se spreminja z vrednostjo $\cos\phi$, torej je največji na ekvatorju.
- ✘ Pri višini $h = 30$ m je odklon na ekvatorju $\delta x = 5,4$ mm

Foucaultovo nihalo

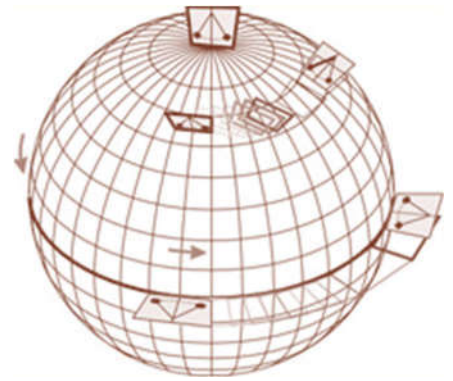
- ✘ Leta 1851 je francoski fizik Jean Leon Foucault v pariškem Panteonu izvedel poskus, da bi dokazal vrtenje Zemlje.
- ✘ Nihalo, ki se imenuje po njem, je zelo dolgo nitno nihalo z dolgim nihajnim časom (nihalo: krogla težka 28 kg, klavirska struna dolžine 67 m, premera 1,4 mm).



- ✗ Nihalo niha z dolgimi nihaji.
- ✗ Zaradi vrtenja Zemlje se ravnina nihanja navidezno (glede na zemeljska tla) vrti okoli navpičnice v smeri urinega kazalca s kotno hitrostjo $\omega_N = \omega \sin \phi$, ($\omega = 7,292115 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$. kotna hitrost rotacije Zemlje $\omega = 2\pi/T$, $T = 86164,1 \text{ s}$).



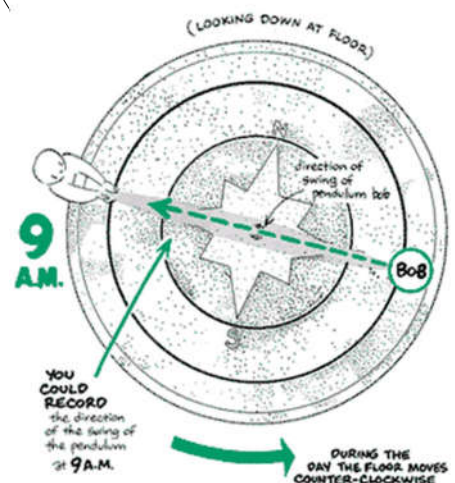
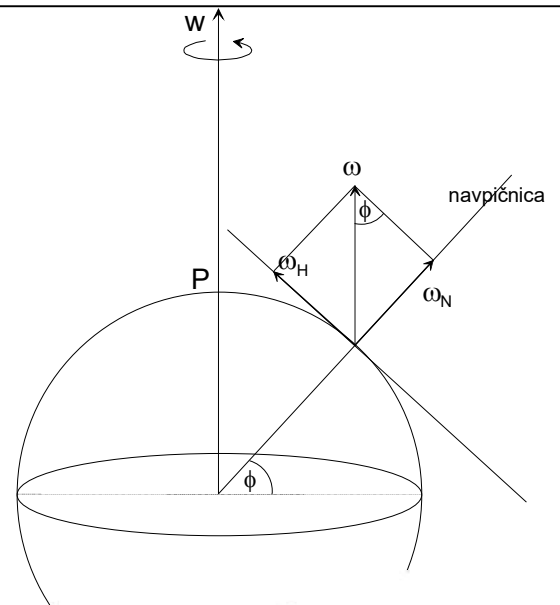
- ✗ To nihanje je najbolj očitno, če ga obravnavamo na severnem polu, $\phi = 90^\circ$. Nihajna ravnina nihala je ves čas enaka, toda Zemlja se pod nihalom vrti s kotno hitrostjo ω (v obratni smeri urinega kazalca) zato opazovalec na tleh vidi, da se nihajna ravnina nihala vrti v smeri urinega kazalca s kotno hitrostjo ω . Na ekvatorju se nihajna ravnina ne vrti glede na zemeljska tla.



- ✗ Animacije!
- ✗ [Primer nihala na "Center for Science and Industry Coumbus \(ZDA\)"](#)

- ✗ Za tla na vmesnih geografskih širinah, razstavimo vektor kotne hitrosti ω vrtenja Zemlje na navpično komponento $\omega_N = \omega \sin \phi$, pravokotno na tla in horizontalno komponento $\omega_H = \omega \cos \phi$ v smeri Zemljine vrtilne osi (vrtenje okoli meridiana). To je hitrost s katero se nebesni svod nad nami pomika od vzhoda proti zahodu. Za Foucaultovo nihalo je pomembna navpična komponenta kotne hitrosti. S to hitrostjo se se namreč tla na geografski širini ϕ vrtijo okrog navpične osi v obratni smeri urinega kazalca (velja za severno poloblo).
- ✗ V eni uri znaša odklon ravnine nihala $15^\circ \sin \phi$, torej za poljubno število ur $\omega_N = 15^\circ \cdot t^{\text{ur}} \sin \phi$.
- ✗ Na polu ima nihalo periodo 24 ur. Perioda rotacija na vmesnih širinah znaša:

$$T_{\text{rot}} = \frac{24^h}{\sin \phi}$$



Revolucija Zemlje

- ✗ Planeti in Zemlja se gibljejo okrog Sonca kot posledica Newtonovega zakona gravitacije. Zaradi velikih razdalj med planeti in Soncem, obravnavamo te kot masne točke. Planetno gibanje je podvrženo določenim zakonitostima. Te je odkril J. Kepler* in jih podal v obliki strogih matematičnih obrazcev. Keplerjevi zakoni:

1. Središča planetov se gibljejo okrog Sonca po elipsah; v skupnem gorišču teh elips je Sonce.
2. Veznica med središčem Sonca in središčem planeta popiše v enakih časovnih presledkih enake ploščine. → zakon o konstantni ploščinski hitrosti.
3. Kvadrati obhodnih dob T posameznih planetov so v istem razmerju kakor tretje potence velikih polosov a , njihovih eliptičnih tirov;
drugače: kvocient je isto število za vse planete $\frac{T^2}{a^3} = konst$
(zakon prikazan v poenostavljeni obliki).

- ✗ *Johannes Kepler (1571-1630), nemški astronom, matematik, astrolog. Prva dva zakona je Kepler objavil leta 1609 v Pragi v knjigi "Astronomia nova de motibus stellae Martis". Tretji zakon pa je bil objavljen v knjigi "Harmonices mundi" leta 1619 v Linzu.



Tretji Keplerjev zakon

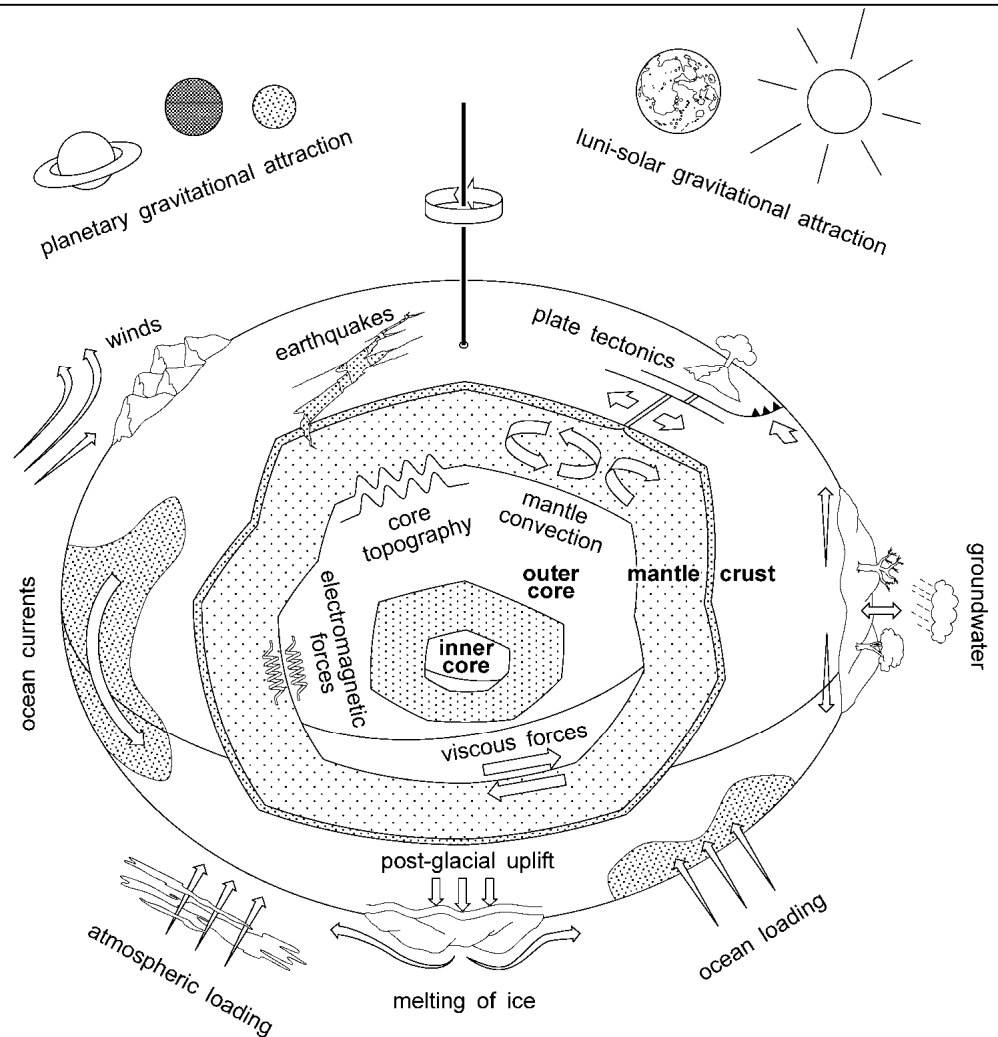
- ✗ Kepler sam ni razumel zakaj njegovi zakoni veljajo. Šele Newton je izpeljal zakon, ki povzroča planetno gibanje skladno z zakoni. Newton je uvidel, da je njegov tretji zakon (1687) v zvezi s tretjim Keplerjevim zakonom v obliki:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} = konst \quad n^2 a^3 = G(M+m)$$

- ✗ Kjer so T siderična perioda planetov, a velika polos tirov, G je univerzalna gravitacijska konstanta, M in m sta masi središčnega telesa in telesa, ki kroži.
- ✗ V primeru Osončja se masa planetov, razen pri največjih, lahko zanemari. Konstanta pri planetih Osončja znaša $2,97 \cdot 10^{-19} \text{ [s}^2/\text{m}^3\text{]}$;
enote: obhodna doba v [sek], velika polos v [m].
- ✗ Če obhodno dobo izrazimo v letih, veliko polos v [a.e.], velja za Osončje: $M = M_{\odot}$ in zakon dobi zelo enostavno obliko (kot jo je izpeljal Kepler):
pri tem smo člen $2\pi/T$ zamenjali z n (povprečno kotno hitrostjo).
- ✗ Konstanta v zakonu ima lahko drugačno vrednost pri drugih planetnih sistemih (na primer Jupitrove lune).

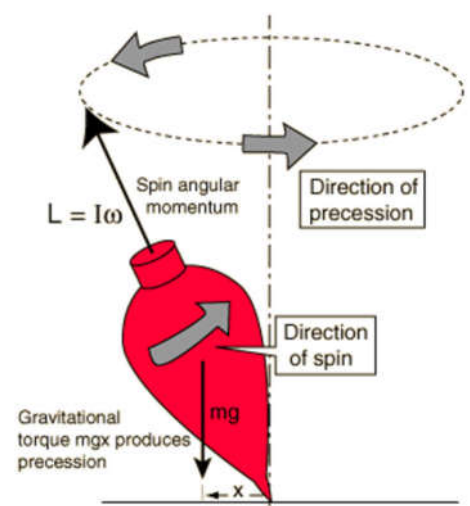
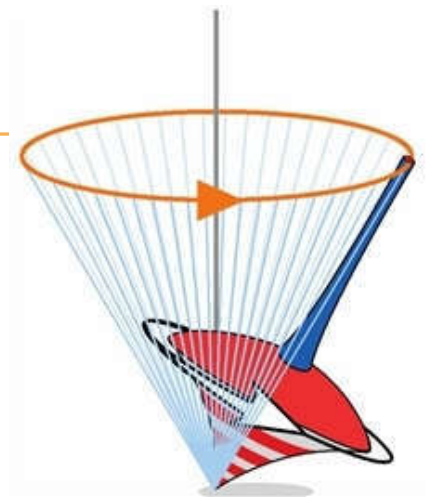
$$\left(\frac{1 \text{ leto}}{T}\right)^2 \left(\frac{a}{1 \text{ AU}}\right)^3 = 1$$

Rotacija Zemlje - vplivi

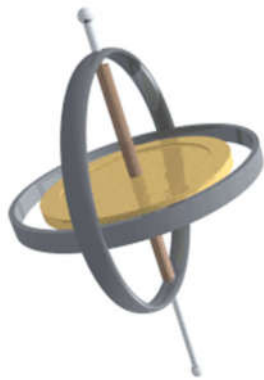


Posebnosti Zemljine rotacije

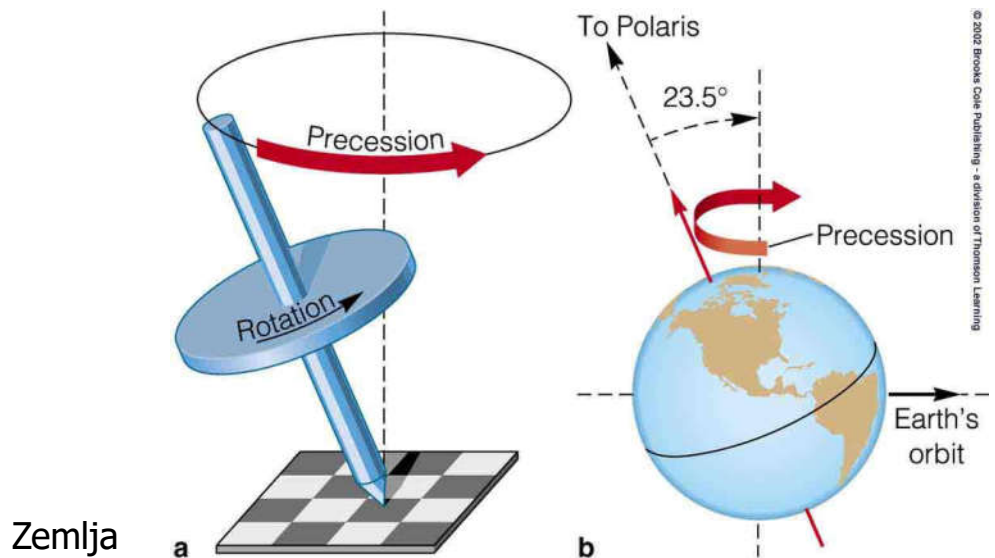
- ✘ Nepravilnosti Zemljine rotacije pojasnujemo z gibanjem vrtavke. Spomnimo se: vrtavka je rotacijsko simetrično telo z zelo velikim vztrajnostnim momentom. Velik vztrajnostni moment pomeni, da dobi telo pri danem navoru zunanjih sil majhen kotni pospešek.
- ✘ Vztrajnostni moment telesa (J) je merilo za vztrajnost telesa proti spremembi kotne hitrosti vrtenja.
- ✘ Vrtenje vrtavke je v splošnem precej zapleteno. Poleg tega, da se vrti okoli lastne osi, njena os tudi "precesira". Pri stalnem kotu θ se suče okrog navpičnice po plašču stožca.
- ✘ Možno je tudi, da se med precesiranjem izmenično spreminja kot θ , tako da vrtavkina os niha gor in dol.



Precesija vrtavke



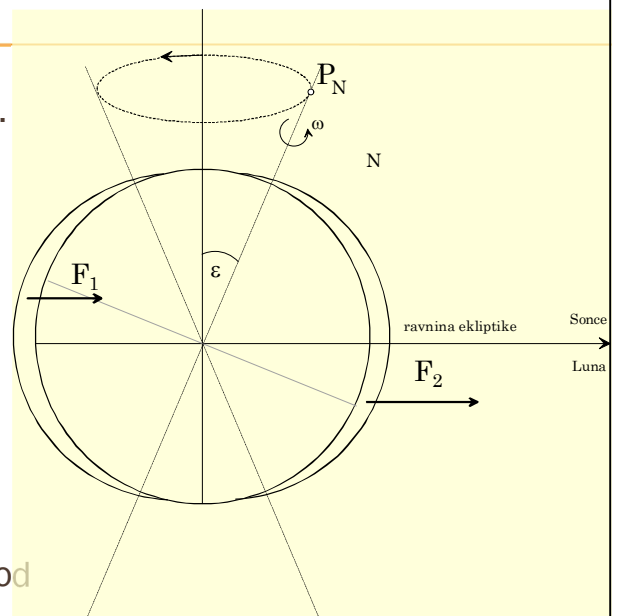
vrtavka



Zemlja

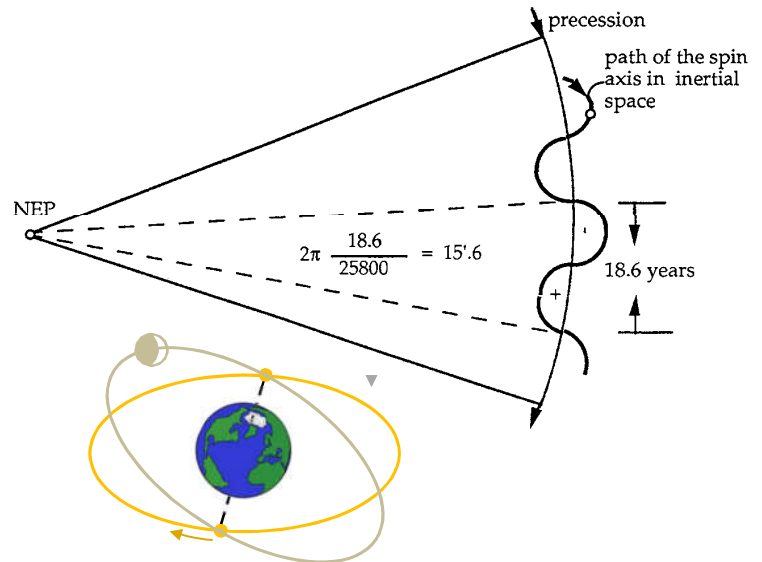
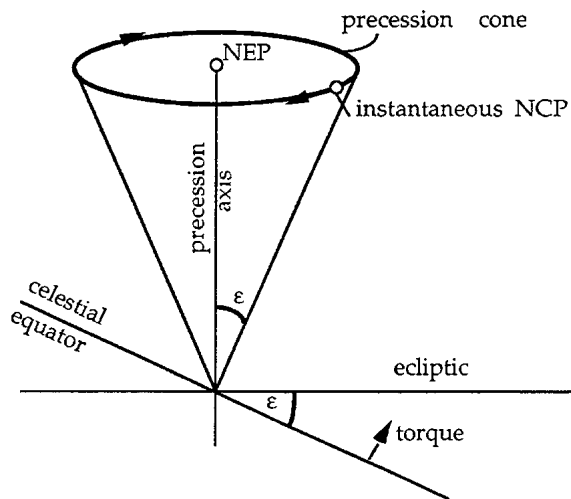
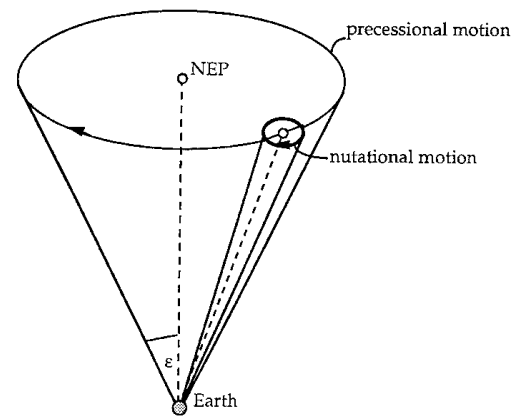
Precesijsko gibanje Zemlje

- ✘ Zemlja zaradi dnevnega vrtenja ima vrtilno količino. Nanjo učinkujeta gravitacijski sili Lune in Sonca. Če bi Zemlja bila popolna krogla, bi bil navor privlačnih sil nič in smer vrtilne količine (sovpada z rotacijsko osjo) bi bil stalen.
- ✘ Zaradi sploščenosti in prisotnosti ekvatorskih izboklin ter nagnjenosti vrtilne osi, nastane precesijsko gibanje Zemljine rotacijske osi.
- ✘ Sonca in Luna učinkujeta na odebljeni del Zemlje s privlačno silo, ki je večja za bližnji del (F_2) kot za oddaljeni del (F_1): $F_1 < F_2$. Navor teh sil je različen od nič in stalno učinkuje na Zemljino rotacijo, ter povzroča precesijo.
- ✘ Posledično Zemljina rotacijska os precesira v prostoru.
- ✘ Zaradi sprememb v medsebojni legi Sonca, Lune in Zemlje, je precesijsko gibanje rotacijske osi še bolj zapleteno → [nutacija](#).



Precesija in nutacija

- ✘ Ker je Luna štiristokrat bližja od Sonca, znaša njen vpliv 2/3 celotnega. **Nutacija predstavlja periodične motnje precesije.** Nastaja zaradi periodičnih sprememb v privlačnih silah Lune in Sonca. Največji učinek povzroča obratno gibanje vozlov Luninega tira v ravnini ekliptike. Perioda tega člena je 18,6 let z amplitudo 9".

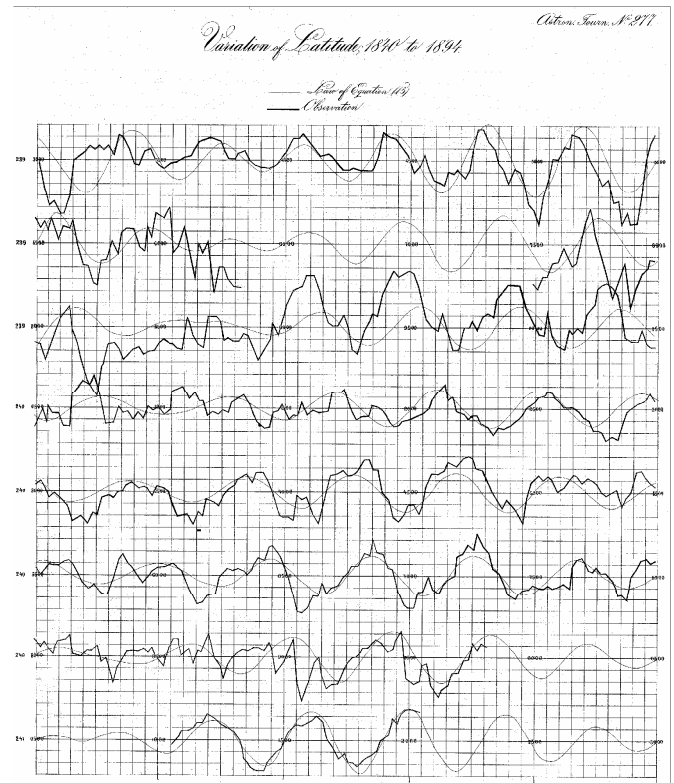


Precesijska perioda

- ✘ Celotno precesijsko gibanje Zemljine rot. osi lahko razčlenimo na:
 - + lunisolarno precesijo,
 - + planetno precesijo,
 - + nutacijo.
- ✘ **Lunisolarna precesija** povzroča gibanje nebesnega pola okrog ekliptičnega pola po plašču stožca. Ker spreminja Zemljina os svojo smer, spreminja lego v prostoru tudi ravnina nebesnega ekvatorja tako, da ostane kot med njo in ravnino ekliptike stalen. Posledica je, da ekvator počasi drsi po ekliptiki oz. pomladišče ♈ se premika vzdolž ekliptike v nasprotni smeri, kot poteka navidezno letno gibanje Sonca po ekliptiki, za vrednost $\psi = 50,3''$. Polni obhod po precesijskem krogu opravi pol v času $360^\circ / \psi$, kar znaša približno 25 756 let (~ 26 000 let → Platonsko leto).
- ✘ **Planetna precesija** povzroča počasno spremembo naklona ekliptike, ta se giblje med 22° in $24,5^\circ$ s skoraj 40 000 letno periodo.

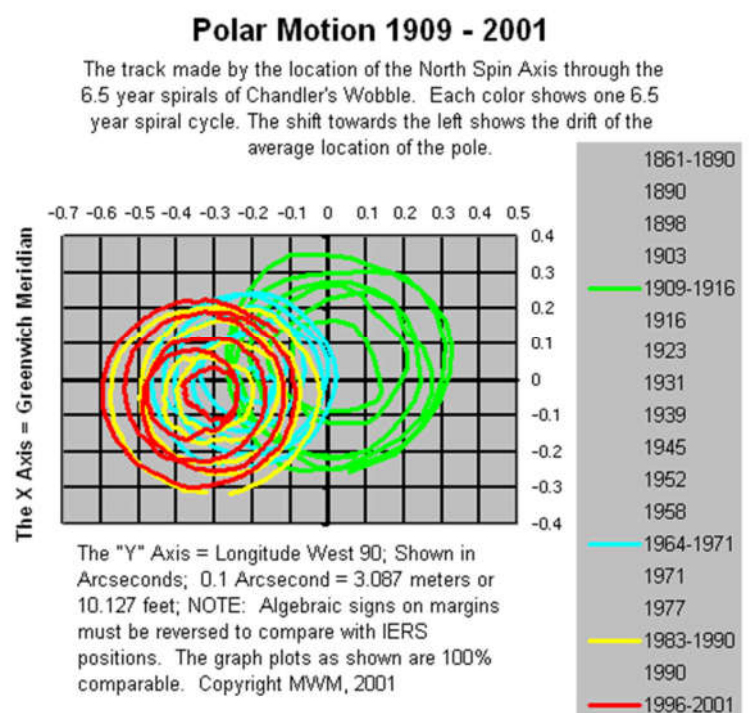
Premikanje Zemljinih polov (2)

- ✘ Pojav so odkrili v XIX. st. ko so poskušali pojasniti periodično spreminjanje astron. geografskih širin v različnih observatorijih. Pojav je prvi ugotovil nemški astronom K.F. Kustner leta 1887.
- ✘ Pet let kasneje je teorijo potrdil ameriški astronom S.C. Chandler.
- ✘ Za spremljanje pojava so ustanovili:
 - + ILS "International Latitude Service"
 - + IPMS "International Polar Motion Service"
 - + leta 1988 iz BiH ("Bureau Int. de l'Heure") in IPMS nastane IERS.



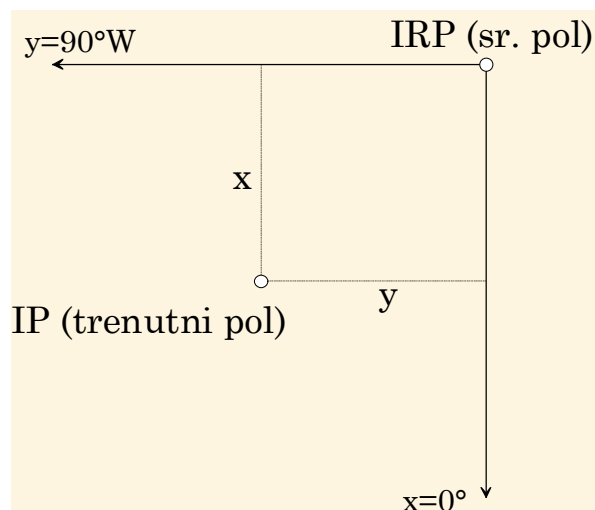
Premikanje Zemljinih polov (3)

- ✘ Premikanje je približno krožno z dvema periodama:
 - + 14-mesečna, ki se imenuje Chandlerjeva perioda,
 - + druga, 300-dnevna Eulerjeva perioda.
- ✘ Razliko lahko pojasnimo z elastičnimi lastnostmi Zemljinega telesa.
- ✘ Amplituda se tudi spreminja s časom.

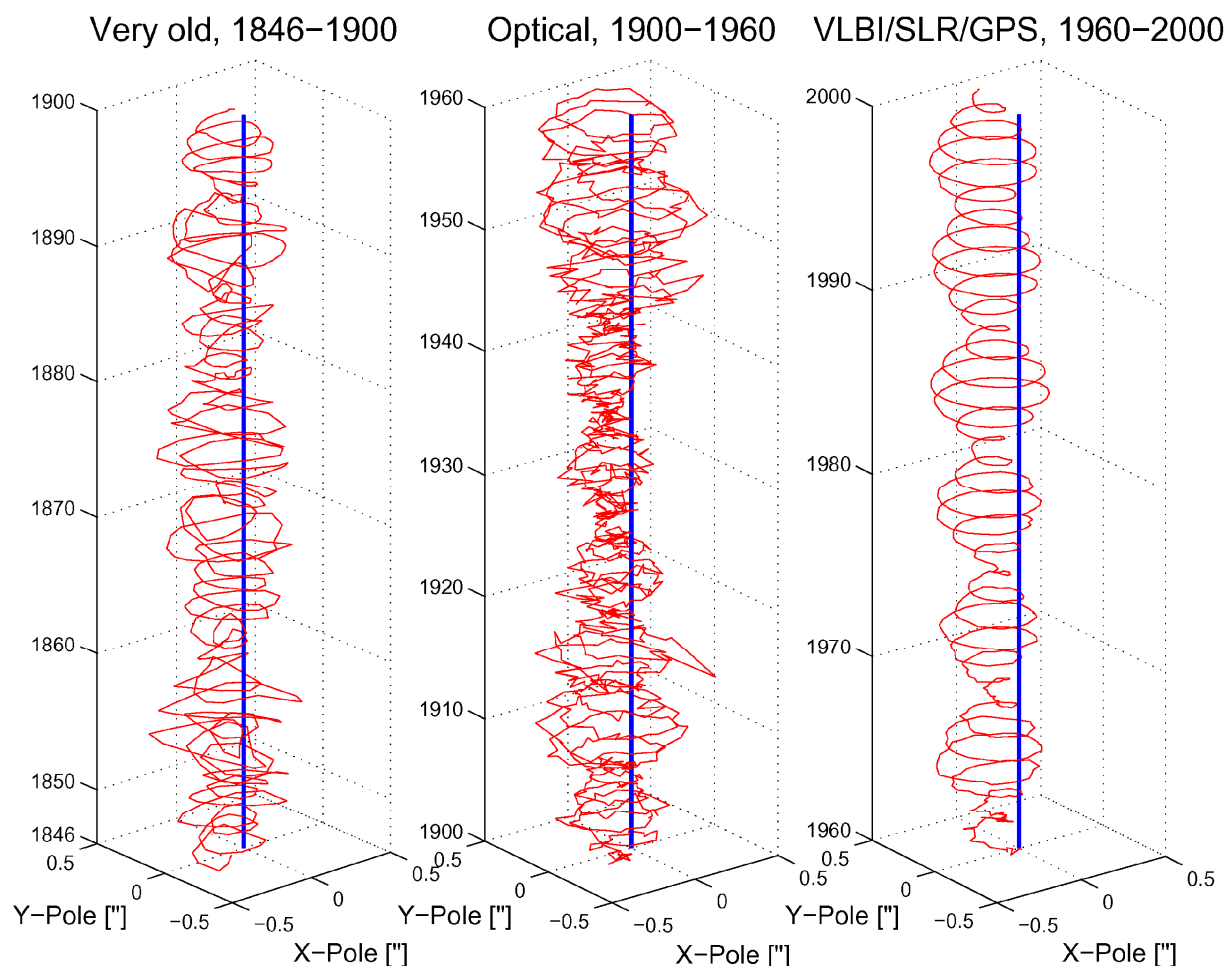


Premikanje Zemljinih polov (4)

- ✘ Položaj trenutnega pola glede na srednji pol je podan s pravokotnima koord. x_P, y_P , definiranim v tangentni ravnini srednjega pola. X-os je v smeri Grenviškega meridiana, y-os v smeri meridiana $\lambda=90^\circ W$.
- ✘ IRP (IERS Reference Pole) – srednji pol.
- ✘ Položaj srednjega pola je bil določen na osnovi podatkov služb, od ILS do IERS.
- ✘ Natančnost določitve 0,002".



Premikanje polov v zadnjih stotih letih

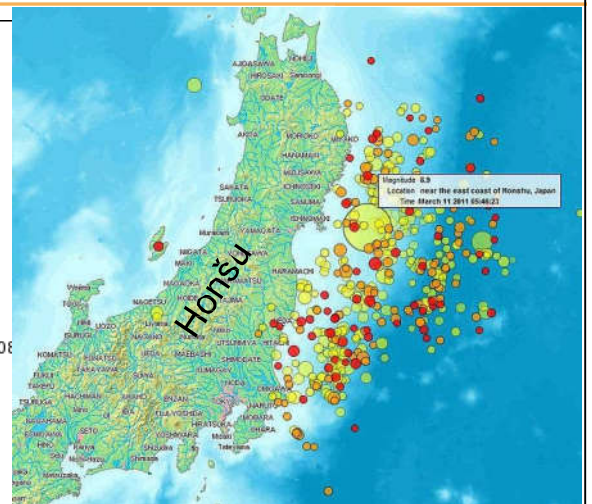
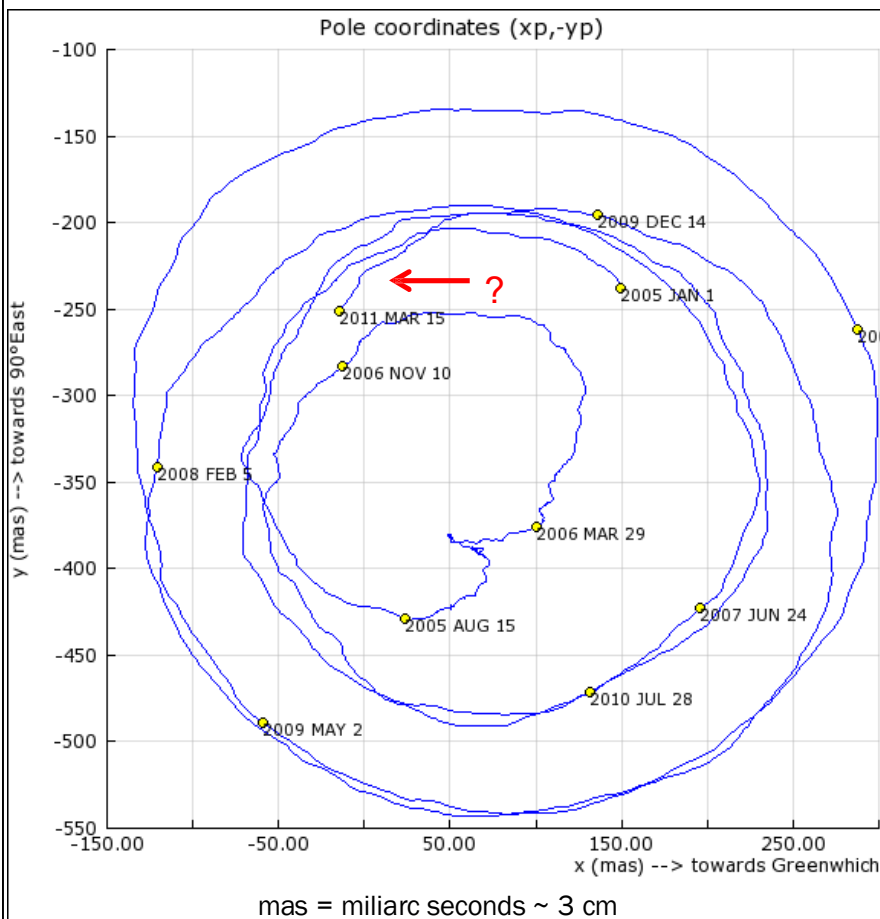


Premik zemljine osi?

11. marca 2011 je Japonsko prizadel močan potres (magnituda 8,9). Premiki so dosegli več metrov.



Premik zemljine osi?



Analyses show that it was the strongest earthquake to hit the Japanese islands and the 4th strongest ever recorded on Earth. The earthquake caused the island of Honshu to shift 2,4 m to the east, which in turn caused the Earth's axis to shift by about 10 cm.

Orientacija Zemlje ("Earth Orientation")

- ✘ Orientacija Zemlje se nanaša na količine (parametre), ki določajo povezavo med terestričnim in nebesnim referenčnim sistemom (ITRS in ICRS).
- ✘ Parametri Zemljine orientacije **EOP – "Earth Orientation Parameters"**, določajo:
 - + usmeritev Zemljine rotacijske osi v prostoru;
 - + njen položaj glede na Zemljino telo;
 - + in trenutno hitrost ("rate") rotacije.
- ✘ Parametri Zemljine orientacije (EOP) predstavljajo rotacijski del transformacije med ICRS in ITRS. Dejansko EOP opisuje spremembo orientacije Zemljinega površja, na kateri se nahajajo observatoriji (točke) glede na nebesni referenčni sistem (space fixed reference system).

Parametri Zemljine orientacije (EOP – "Earth Orientation Parameters")

- ✘ Parametri orientacije Zemlje predstavljajo rotacijo med:
 - + vrtečim se geocentričnim terestričnim koordinatnim sistemom ITRS (materializiranim z koordinatami opazovalnih postaj na Zemeljskem površju)
 - + in nevrtečim se geocentričnim nebesnim koordinatnim sistemom ICRS (materializiranim z koordinatami nebesnih teles, zvezd, kvazarjev itd.).
- ✘ Sama rotacija med koordinatnima sistemoma je podana z ustrezno skupno rotacijsko matriko med krajevnim vektorjem v nebesnem k.s. (\mathbf{r}_{neb}) in krajevnim vektorjem v terestričnem k.s. (\mathbf{r}_{ter}):

$$+ \quad \mathbf{r}_{\text{neb}}(t) = \mathbf{R}(t) \mathbf{r}_{\text{ter}} \quad t_{TT} = \frac{JD_{TT} - T_0}{36525}, \quad T_0 = 2451545,0 \text{ TT}$$

T_0 je Julijanski datum 1. Januarja 2000 ob 12 uri (epoha J2000,0).

- ✘ Načeloma bi se orientacija Zemlje lahko predstavila samo z tremi rotacijskimi koti, **vendar je iz zgodovinskih in praktičnih razlogov količin EOP pet.**

Rotacija ICRS ↔ ITRS

$$\mathbf{r}_{neb}(t) = \mathbf{R}(t) \mathbf{r}_{ter}(t)$$

$$\mathbf{R}(t) = \mathbf{P}(t) \cdot \mathbf{N}(\Delta\varepsilon(t), \Delta\psi(t)) \cdot \mathbf{R}_3(s(t)) \cdot \mathbf{R}_1(y(t)) \cdot \mathbf{R}_2(x(t))$$

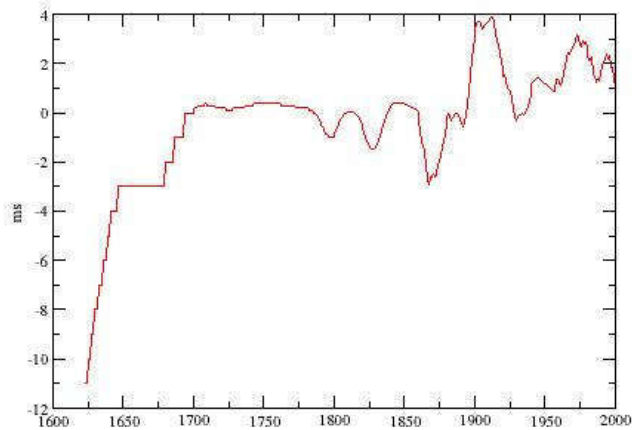
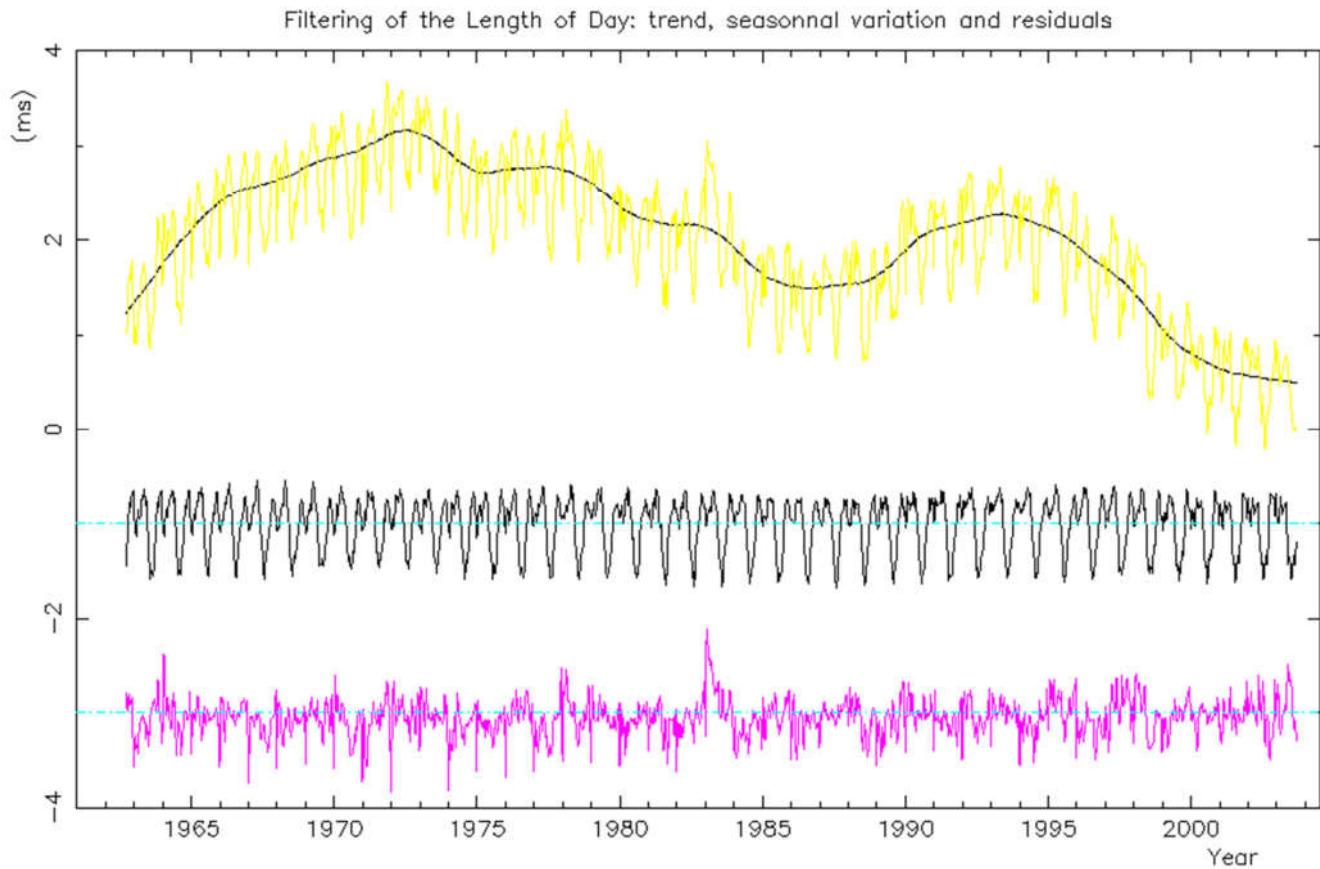
Z. rot. os pritrjena v prostoru
24-urno vrtenje
rot. os pritrjena na Zemlji

- ✘ $\mathbf{P}(t)$: precesijska matrika;
- ✘ $\mathbf{N}(t)$: nutacijska matrika, nutacija v naklonu $\Delta\varepsilon$, nutacija v astronomski dolžini $\Delta\psi$;
- ✘ $\mathbf{R}_3(s)$: matrika zvezdnega časa s (funkcija časovnih skal UT1 in UTC);
- ✘ $\mathbf{R}_1(y) \mathbf{R}_2(x)$: matrika elementov premikanja polov; koordinate trenutnega pola y, x .
- ✘ Rotacija med nebesnim in terestričnim sistemom je razčlenjena na tri komponente, čeprav je samih parametrov Zemljine orientacije pet.
- ✘ Pet parametrov orientacije Zemlje (EOP) so izpeljani na osnovi opazovanj, določajo popravke enakomerni dnevni rotaciji Zemlje in modeliranemu premikanju nebesnega pola (precesija, nutacija). Parametri so:

Parametri EOP

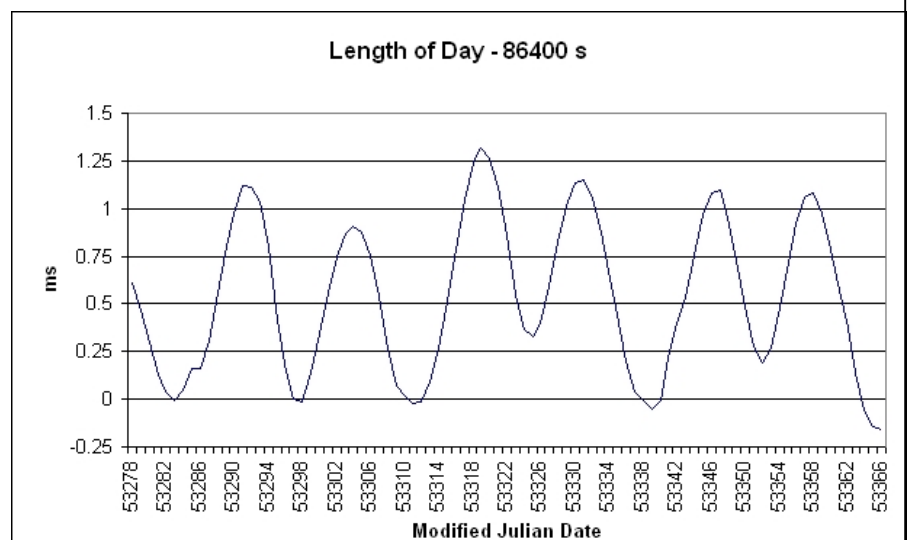
- ✘ **Kratkoperiodični nutacijski členi $\Delta\varepsilon$, in $\Delta\psi$** (nutacija v astronomski dolžini in nutacija v naklonu); člena podajata položaj trenutnega nebesnega pola glede na modelirani položaj nebesnega pola (skladno z ustrežno teorijo precesije - nutacije). CIP "Celestial Intermediate Pole", oz. trenutni položaj rotacijske osi Zemlje na nebesni krogli. CIP se giblje po nebesni krogli skladno z ustrežno teorijo precesije-nutacije.
- ✘ **Pravokotni koordinati (y,x)** trenutnega Zemljinega pola glede na IERS srednji pol.
- ✘ spremembe v hitrosti Zemljine rotacije se odražajo spremembah svetovnega časa UT1. Te so prikazane skozi spremembe v dolžini dneva - "length-of-day", LOD. Odstopanje trajanja enega vrteža Zemlje od 86400 SI-sekund imenujemo "presežek, ostanek" dolžine dneva, (LOD).
- ✘ Zveza med Zemljino kotno hitrostjo ω in količino LOD je:
$$\omega = \Omega^N \left(1 - \frac{LOD}{T}\right)$$
 pri čemer je $\Omega^N = 72\,921\,151,467064\,10^{-12}$ radian/s; nominalna kotna hitrost Zemljine rotacije (ustreza hitrosti rotacije Zemlje iz leta 1820). T je trajanje srednjega sončevega dneva.
- ✘ Negotovost določitve komponent EOP znaša trenutno (leto 2022) 20 μ as (microarcsecond) za položaj terestričnega in nebesnega pola, 30 μ as za prec.-nut. parametre ter nekaj μ s za svetovni čas.
- ✘ IERS Bulletin A!

Spremembe dolžine dneva

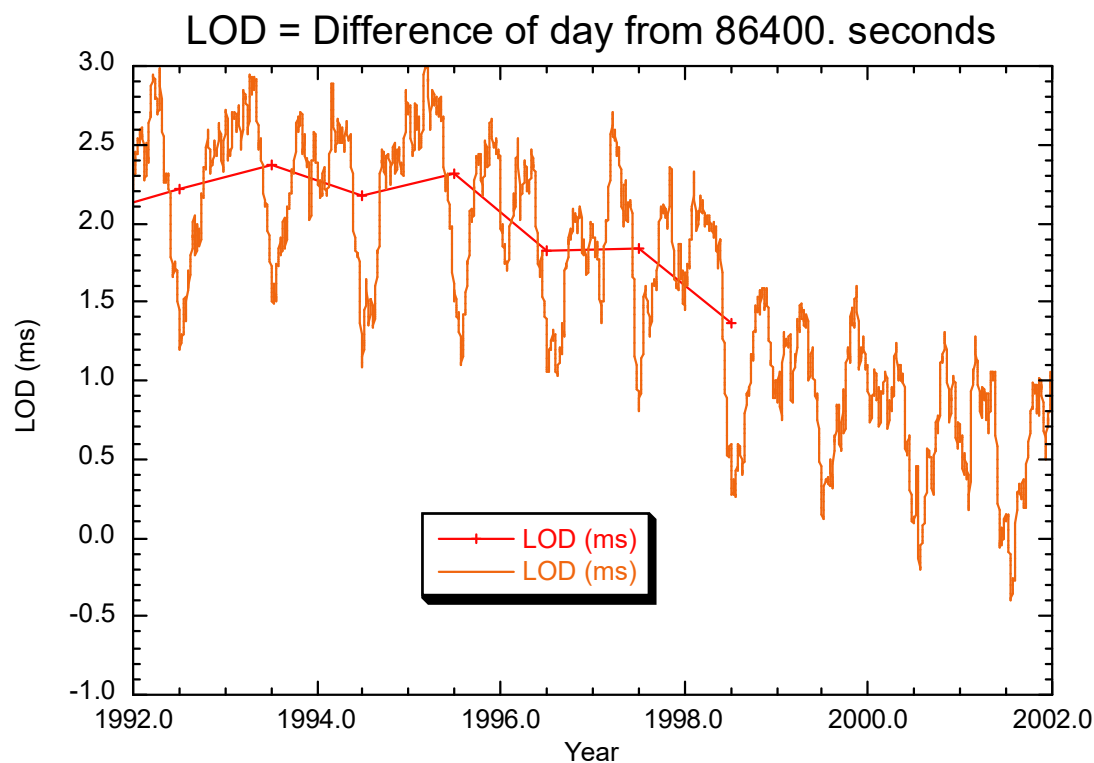


LOD med leti 1623 in 2000

LOD leta 2004



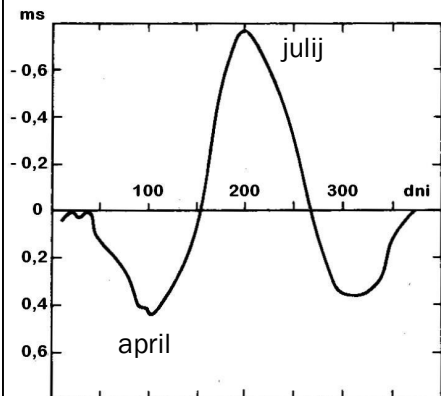
LOD v zadnjih letih



Dolgoročne spremembe dolžine dneva (LOD)

- ✘ Zdaj vemo, da je sekularno upočasnjevanje Zemljine rotacije posledica predvsem dveh vzrokov:
 - + Lunino plimovanje bi moralo podaljšati opazovano dolžino dneva za +2,3 ms dan/stol.
 - + Drugi učinek, povzročča postglacialni dvig delov Zemljine skorje, dejansko skrajša dolžino dneva za $(-0,6 \pm 0,1)$ ms dan/stol.
 - + Kombinacija teh dveh pojavov povzroči spremembo dolžine dneva za +1,7 ms dan/stol.

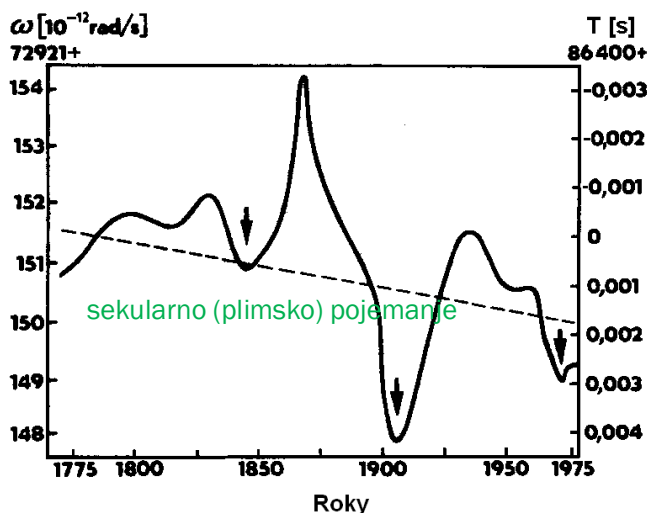
Spremembe LOD



- ✘ Dolžina dneva se med letom spreminja za 1 ms – tj. letne in polletne spremembe.
- + Aprila je dan daljši za 0,5 ms, julija pa za 0,8 ms krajši. Spremembe povzročata izmenjava vrtilne količine med atmosfero in trdno Zemljo, pri čemer se mora vsota momentov sistema Zemlja + atmosfera ohraniti. K temu učinku delno prispevajo tudi plimske spremembe glavnega vztrajnostnega momenta Zemlje.

Dolgoročne spremembe kotne hitrosti, npr. 1775–1975.

- + Slika kaže, da se je Zemlja najpočasneje vrtela leta 1912, ko je bil dan 4 ms daljši od nominalne dolžine 86400 s. Trije izraziti minimumi (označeni s puščico) so povezani z geomagnetno aktivnostjo. Spremembe v gibanju tekočega jedra, ki ustvarja magnetno polje, lahko torej spremenijo tudi vrtenje Zemlje.

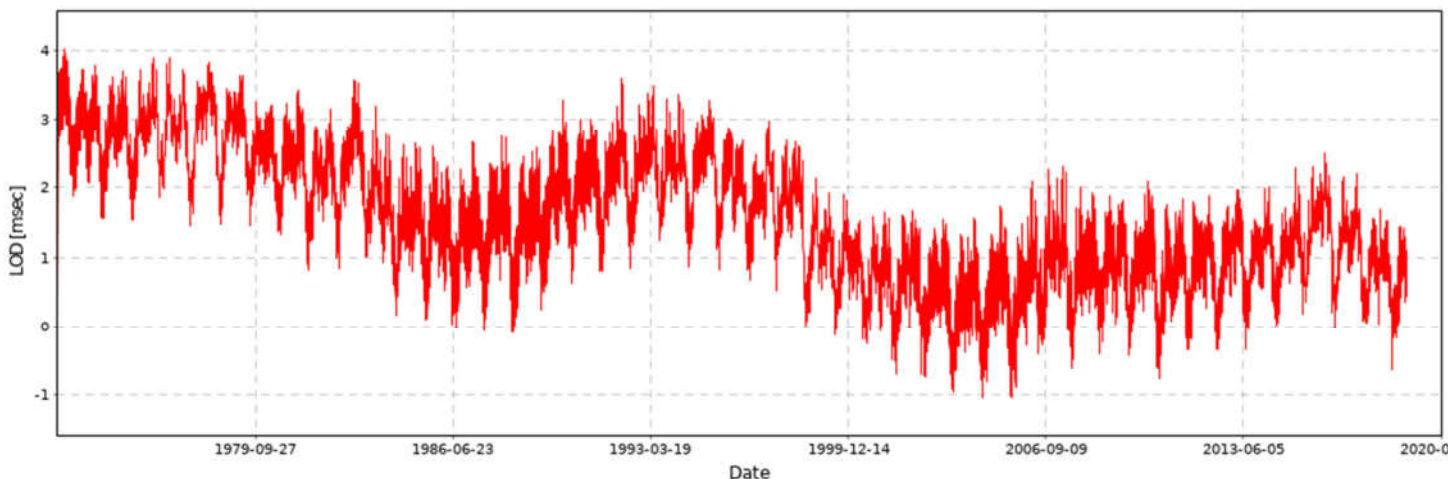


31

LOD

- ✘ Spremenljivost dolžine dneva v zadnjem obdobju – najkrajši dan v zadnjih 100 letih je bil poleti 2004 oziroma poleti 2005, ko je bil dan 1 ms krajši od 86400 s.

LOD / finals.all - Bulletin A value / IAU2000



© IERS Plot-Tool 2015-01-02

Model sprememb hitrosti Zemljine rotacije (Richard Gross, JPL)

Osnova modela: gibanje Zemljinih mas, ki nastane po velikem potresu (upoštevani zadnji veliki registrirani potresi).

Seveda se nagib osi in smer trenutne osi vrtenja glede na zvezde ne spremenita, ker to terja vpliv zunanjih sile. Premikanje mas bližje osi vrtenja (zmanjšanje vztrajnostnega momenta) povzroči pospešitev vrtenja, podobno kot pri umetnostni drsalki, ko se pri izvedbi piruete njeno vrtenje pospešuje z zmanjšanje vztrajnostnega momenta (J , oz. angl. I , $L=J \times \omega$)

Rezultati izračuna: Potresi:

na Japonskem (2011), magn. 8,9: rotacija se pospešila, dan se je skrajšal za $1,4 \mu\text{s}$;

na Sumatri (2004), magn 9,1: dan se je skrajšal za $6,8 \mu\text{s}$;

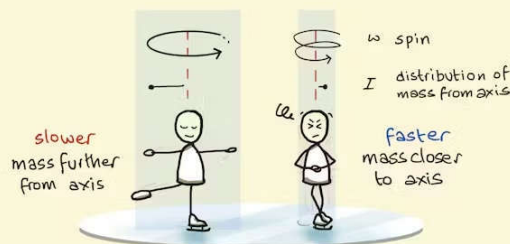
na Aljaski (1964) magn. 9,2: dan se je skrajšal $6,8 \mu\text{s}$;

v Čilu (1960), magn. 9,5: dan se je skrajšal za $8,6 \mu\text{s}$.

To so zelo majhne spremembe, neizmerljive. So 550-krat manjše od sprememb LOD v enem letu. Čeprav potresi lahko spremenijo hitrost vrtenja Zemlje, imajo dolgoročno minimalen pomen. Velikost vpliva na vrtenje ni odvisna le od velikosti potresa, temveč tudi od njegove lokacije (vpliv premika mase je odvisen od oddaljenosti od osi vrtenja) in od podrobnosti o tem, kakšen premik se je zgodil (smer). Predznak vpliva je odvisen tudi od specifičnega gibanja v žarišču.

Fizikalna geodezija - M. Kuhar

THE FIGURE SKATER'S SPIN AND CONSERVATION OF ANGULAR MOMENTUM



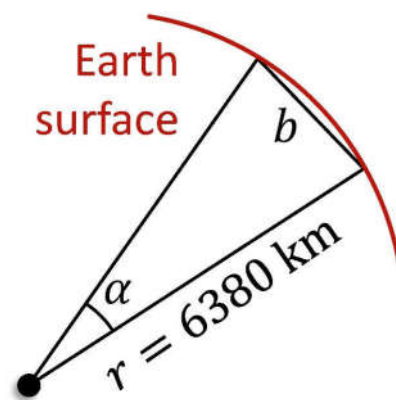
ANGULAR MOMENTUM $L = I \times \omega$
 Moment of Inertia \times Rotational velocity

CONSERVATION $\uparrow I_1 \times \downarrow \omega_1 = \downarrow I_2 \times \uparrow \omega_2$
 BEFORE AFTER

sketchplanations

Pomen parametrov EOP za geo znanosti

- ✘ Poznavanje EOP količin je pomembno zaradi:
 - + realizacije referenčnih sestavov na Zemlji in prostoru (Vesolju);
 - + natančne določitve položaja točk na Zemlji oz. satelitske navigacije, ($1 \text{ ms} \approx 45 \text{ cm}$ na ekvatorju / $1 \text{ mas} \approx 3 \text{ cm}$; $b = \alpha \times r$)
 - + določitve natančnih tirnic (t.i. naloge POD "precise orbit determination");
 - + realizacije časovnih sistemov (časovnih skal);
 - + raziskave sistema Zemlje (Earth system studies), kot npr. klimatske spremembe...



Merjenje in modeliranje sistema Zemlje

